УДК 656.13.05

В.Н.Шуть[1], Л.Персиа[2], Г.Джустиниани[2]
1.Брестский государственный технический университет
Беларусь, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267
2.Римский Университет «Sapienza» UNIROMA
Италия, 00185 , Рим, Пьяццале Альдо Моро 5

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА МАССОВОЙ КОНВЕЙЕРНОЙ ПЕРЕВОЗКИ ПАССАЖИРОВ

V.N.Shuts[1], L. Persia[2], G. Giustiniani[2]
1.Brest State Technical University
Belarus, 224017, Brest, st. Moskovskaya, 267
2. University of Rome «Sapienza» UNIROMA
Italy, 00185, Rome, Piazzale Aldo Moro 5

INFORMATION TRANSPORTATION SYSTEM MASS CONVEYOR CARRIAGE OF PASSENGERS

В.Н.Шуть[1], Л.Персіа[2], Г.Джустініані[2]
1.Брестський державний технічний університет
Білорусь, 224017, м. Брест, вул. Московська, 267
2.Римський університет «Sapienza» UNIROMA
Італія, 00185, Рим, Пьяццале Альдо Моро 5

ІНФОРМАЦІЙНА ТРАНСПОРТНА СИСТЕМА МАСОВОГО КОНВЕЄРНОГО ПЕРЕВЕЗЕННЯ ПАСАЖИРІВ

В статье предложен проект интеллектуальной транспортной системы массовой конвейерной перевозки пассажиров на базе мобильных автономных роботов, собираемых в караваны по кассетному принципу. Такой новый тип общественного транспорта направлен на повышение мобильности и гибкости перевозки пассажиров, а также несет в себе значительные экономические выгоды, так как по производительности перевозки не уступает метро и, в тоже время, по стоимости изготовления и обслуживания на порядок ниже. Проект находится на стадии эскизного проектирования. В настоящее время проводится компьютерное моделирование системы в различных режимах интенсивности пассажиропотоков.

Ключевые слова: дорожное движение, адаптивное управление, пассажиропоток, коэффициент наполнения транспортного средства, интеллектуальная транспортная система.

A project of intelligent transport system is discussed in the article. The system is based on mass transportation of passengers by means of mobile autonomous robots. The robots are assembled in caravans on cluster basis. This new type of public transport system is aimed to increase mobility and flexibility of public conveyance. It also ensures significant economic benefits - since efficiency is almost equal to metro transportation but at the same time the cost of manufacturing and maintenance is much lower. The project is at the stage of conceptual design. Ongoing research is related to computer simulation of the system in different conditions and intensity of passenger traffic.

Keywords: traffic, adaptive control, passenger traffic, rate of vehicle utilization, intelligent transportation system.

У статті запропоновано проект інтелектуальної транспортної системи масового конвеєрного перевезення пасажирів на базі мобільних автономних роботів, що збираються в каравани за касетним принципом. Такий новий тип громадського транспорту спрямований на підвищення мобільності та гнучкості перевезення пасажирів, а також несе в собі значні економічні вигоди, так як за продуктивністю перевезення не поступається метро і, в той же час, за вартістю виготовлення та обслуговування на порядок нижчий. Розробка перебуває на стадії ескізного проектування. На даний час проводиться комп'ютерне моделювання системи в різних режимах інтенсивності пасажиропотоків.

Ключові слова: дорожній рух, адаптивне управління, пасажиропотік, коефіцієнт наповнення транспортного засобу, інтелектуальна транспортна система.

Введение

Дорожный транспорт – существенная часть современного общества и к нему со стороны этого общества предъявляются повышенные требования. Совсем недавно проблемы координации и управления транспортными потоками на улично-дорожных сетях (УДС) не были столь актуальными. В условиях не слишком высоких загрузок УДС функционировали достаточно эффективно, и их деятельность не приводила к серьезным перебоям и отказам в обслуживании. Рост уровня автомобилизации и транспортной подвижности населения привел к насыщению городских улиц, что является причиной переоценки принципов управления транспортными потоками, а также стимулом к разработке новых видов общественного транспорта.

Статистические данные интенсивности движения на магистральных улицах США и Европы свидетельствуют о том, что именно на перемещение по городу люди тратят (в среднем) от 1 до 2,5 часов в день, что вызывает в последнее время существенный интерес к совершенствованию управления транспортными потоками и общественным транспортом на городских дорогах и магистральных улицах. Ежегодное увеличение транспортной нагрузки на основные магистрали приводит к устойчивому снижению скорости движения транспортного потока и образованию пробок.

Частный автомобильный транспорт не способен обеспечить высокую провозную способность магистрали, т.к. по данным [1] в каждом авто в среднем перемещается 1,2-1,5 человека. Отсюда следует, чтобы избежать транспортного коллапса, необходимо разгрузить перенасыщенные магистрали путем расширения масштабов перевозок общественным транспортом наземного типа высокой производительности, приближающейся к производительности метро. Строительство последнего является дорогостоящим мероприятием (1км метро стоит 40-60 млн. долларов) [2].

Транспорт высокой производительности не должен иметь помех со стороны других участников движения или со стороны дорожной инфраструктуры УДС (к примеру, светофоров). Достичь такого эффекта возможно, на настоящий момент, путем разнесения различных транспортных потоков по уровням. Отсюда, соответственно, имеем подземный, наземный и надземный транспорт. Последний движется по надземным эстакадам. Строительство эстакад примерно от 4 до 8 раз менее затратно, чем строительство подземного транспорта (метро). Причем, с точки зрения безопасности пассажиров такой транспорт на порядок более безопасен, чем метро. Но надземный транспорт плохо вписывается в городскую инфраструктуру и искажает облик города.

Таким образом, беспомеховый наземный транспорт массовой перевозки пассажиров является лучшей альтернативой городскому транспорту будущего. Возможно ли такое в условиях интенсивного наземного движения? Как ни странно, но ответ положительный.

Так, китайские исследователи предложили способ избавления от пробок. Спасти Пекин и другие крупные города от автомобильных заторов помогут суперавтобусы шириной в две полосы и вместимостью полторы тысячи человек. Транспортное средство, скорее, напоминает двухэтажный трамвай, только вместо первого этажа – что-то вроде тоннеля. Ширина машины – две полосы, то есть под днищем смогут проезжать другие автомобили, а вместительный салон рассчитан на полторы тысячи пассажиров. Автобус будет либо ездить по рельсам, либо по нарисованным вдоль дороги линиям по системе автопилот (рис.1).



Рис.1. Внешний вид «поглощающего» автобуса

В настоящей работе предлагается новый тип городского общественного транспорта – информационный. Как и суперавтобусная транспортная система, данный вид транспорта способен без помех со стороны других транспортных средств функционировать в насыщенной улично-дорожной среде и перевозить большое количество пассажиров, сравнимое с метро. В отличие от суперавтобусной транспортной системы, этот вид транспорта является более энергоэкономный, так как в нем отсутствуют эскалаторыля загрузки пассажиров в салон, расположенный на уровне второго этажа. Да, и в улично-дорожной среде он не будет отличаться необычной конструкцией от привычных транспортных средств.

Предлагаемый тип транспорта является системой, в которой информационные процессы (сбор информации, обработка информации, принятие решений) выполняются постоянно и составляют основу информационной транспортной системы. Нарушение любого из этих процессов делает систему неработоспособной. Единичным транспортным средством системы является автономный электрокар (без водителя) вместимостью до 50 человек. По ассоциации назовем его инфобусом. В отличие от известных транспортных пассажирских средств (автобус, троллейбус, трамвай и т.д.), которые работают автономно, инфобус может функционировать только в составе информационной транспортной системы.

Недостатки систем современных городских пассажирских перевозок

В практике перевозок для характеристики потребностей городского населения в перевозках и систематического анализа условий перевозки пассажиров используются следующие категории [3]:

-пассажиропоток – количество пассажиров одновременно проезжающих в одном направлении;

-пассажирообмен – сменяемость пассажиров на остановочных пунктах маршрута (количество входящих и выходящих пассажиров).

Важной характеристикой транспортного средства является его вместимость, а также коэффициент использования пассажировместимости (коэффициент наполнения транспортного средства). Коэффициент представляет собой отношение фактического пассажирооборота к предоставленному (возможному) пассажирообороту. Для отдельного транспортного средства – это отношение числа пассажиров в салоне к полной вместимости салона.

Пассажиропоток характеризуется мощностью. Пассажиропоток является случайной величиной, которая изменяется как от времени, так и от расстояния: от

начального пункта маршрута (т.е. на различных перегонах маршрута она меняется). Также пассажиропоток меняется и от направления движения по маршруту (прямое и обратное направление).

Данные о мощности пассажиропотока используются для выбора транспорта необходимой вместимости и определения необходимого количества транспортных средств, обеспечивающих рациональную эффективность их использования и высокий уровень обслуживания пассажиров. Систематически собираемая и анализируемая информация о величине пассажиропотока на маршруте является исходной базой для таких расчетов, которые должна постоянно проводить служба эксплуатации транспортного управления.

На каждом маршруте могут быть использованы транспортные средства одной вместимости или разные по вместимости. Выбор и обоснование необходимой вместимости транспортного средства для качественного обслуживания пассажиров, более рационального и эффективного использования транспортных средств является сложной управленческой задачей в условиях неполной, а зачастую недостоверной, информации. Вместимость транспортного средства устанавливается по данным распределения мощности пассажиропотока и характеру его неравномерности во времени, длине маршрута и направлениям следования. Информация носит вероятностный характер и представлена в форме моментов первого, второго и третьего порядка распределения случайной величины.

Лицо, принимающее решение (ЛПР) [4] в таких сложных условиях, должно обладать соответствующей квалификацией, опытом работы и, даже, интуицией. Неверные решения приводят к потерям. Так, например, использование транспортных средств малой вместимости при большой мощности пассажиропотока увеличивает необходимое количество транспортных средств (водителей) и повышает загрузку улиц.

И, наоборот, эксплуатация транспортных средств большой вместимости на маршруте с малой интенсивностью пассажиропотока приводит к слишком большим интервалам движения, к излишним затратам времени пассажирами на ожидание транспортного средства и, в связи с этим, к большим неудобствам для населения. Основным критерием для выбора рациональной вместимости транспортного средства для того или иного маршрута, является, прежде всего, целесообразный интервал движения.

Таким образом, современное состояние пассажироперевозок имеет следующие недостатки:

- отсутствие точной, объективной информации в режиме реального времени о мощности пассажиропотока на маршруте, что препятствует принятию оптимальных решений и ведет к экономическим потерям;
- присутствие человеческого фактора в принятии ответственных решений.

И третьим, очень существенным, и, может быть, самым главным недостатком является малая номенклатура транспортных средств различной вместимости для более точного покрытия меняющегося пассажиропотока. Данный недостаток в рамках современного технического обеспечения городских пассажирских перевозок преодолеть невозможно, так как промышленность не в состоянии изготовить, положим, двадцать типов автобусов различной вместимости.

И даже, если гипотетически предположить, что нужный ассортимент изготовлен, то трудно найти ЛПР эффективно им управляющее. Тем более, что управляющие решения принимаются на основе интегральной (усредненной)

прошлой информации о пассажиропотоках. И второй вопрос. Где и как хранить такой разнообразный парк транспортных средств?

С момента появления первых городских пассажирских транспортных средств (более 100 лет назад) и обеспечении ими городских маршрутов перевозок населения организация таких перевозок не изменилась. Здесь под организацией понимается весь комплекс мероприятий, связанных с планированием, контролем и управлением движением пассажирских транспортных средств в городе. Такая стабильность обусловлена неизменностью самих транспортных средств.

Развитие информационных технологий позволяет пересмотреть концепцию организации и управления современным городским транспортом. При этом всё разнообразие городских пассажирских транспортных средств должно быть упразднено и сведено к одной транспортной единице минимальной вместимости – инфобусу. В зависимости от мощности пассажиропотока на маршруте (измеряется датчиками в автоматическом режиме) управляющая ЭВМ высылает на маршрут такое число n-инфобусов, чтобы суммарный объем их превышал объем пассажиропотока.

При этом инфобусы собираются в кассеты (отсюда термин «кассетный тип транспорта»), состоящие из различного числа единиц. В кассету может быть собрано различное число инфобусов: один, два и т.д. Всё зависит от мощности пассажиропотока в текущий момент времени. Возможно, собрать транспортное средство любой вместимости, требуемое на маршруте сейчас, быстро и без затрат, так как механические соединения в кассете отсутствуют. Соединение виртуальное, как в автопоездах [5]. Минимальное безопасное расстояние между инфобусами в кассете обеспечивает электроника.

Такая транспортная система является адаптивной к пассажиропотоку. Она своевременно и оперативно меняется и подстраивается под пассажиропоток. В связи с этим система является наиболее экономичной и наилучшим образом удовлетворяет транспортные потребности населения, так как транспортные средства не будут курсировать полупустыми или чрезмерно переполненными.

Система SARTRE–основа кассетной сборки инфобусов

Одним из перспективных проектов, способных изменить нынешнее положение дел в области использования личного и общественного транспорта путем создания безопасных автокараванов или, так называемых автопоездов, является система SARTRE. Основанный ЕвроКомиссией в сентябре 2009 года проект Safe Road Trains for the Environment (SARTRE) позволяет нескольким машинам двигаться по дороге в организованной колонне. SARTRE был инициирован с целью изучения стратегий и создания технологий испытания для каравана автотранспортных средств на регулярных автомобильных дорогах общего пользования [5]. Проект, как нельзя лучше, подходит для решения аналогичной задачи – кассетной сборки инфобусов в единый автопоезд.

Проект представляет собой систему, в которой автомобили двигаются за головной машиной, которой выбирается грузовой автомобиль с водителем-профессионалом. Автомобили выстраиваются с дистанцией 6 м и полностью повторяют движение ведущего грузовика, что позволяет водителям отдохнуть, покушать, поговорить по телефону. По желанию, каждый из автомобилей в любой момент может покинуть группу. При этом состав колонны время от времени

меняется: одни водители берут управление в свои руки и съезжают с трассы, другие присоединяются и «уступают руль» (рис.2).



Рис. 2. Автопоезд проекта SARTRE

О том, что к движущемуся впереди автопоезду можно присоединиться, водитель узнаёт благодаря спутниковой навигации и передаёт сигнал о своём желании «стать вагоном» шофёру головной машины. Точно так же ему следует просигнализировать о намерении продолжить путь самостоятельно.

Введение автопоездов на дорогах с частными транспортными средствами дает ряд преимуществ (приблизительно с 20%-м сокращением выбросов), преимущества в безопасности (сокращение несчастных случаев, вызванных действием водителя) и сокращение на перегруженности (более гладкий транспортный поток с потенциальным последовательным увеличением пропускной способности).

В январе 2012 года проект SARTRE вошел в заключительную фазу с демонстрацией автопоезда из ведущего грузовика и трех ведомых легковых автомобилей. Тестирование проходило на Hällered полигоне в Швеции. Испытуемые транспортные средства со скоростью около 90 км/час отлично показали себя, полностью повторяя движения ведущего грузовика.

Для реализации системы автопоезда в информационной транспортной системе пассажирских перевозок или, иначе, кассетной сборки инфобусов, требуется оборудовать каждый инфобус дальномерами, бортовым компьютером и средством беспроводной связи. На рис.3 изображен автопоезд, состоящий из n-инфобусов. Число инфобусов в автопоезде определяется уровнем мощности пассажиропотока на маршрутной линии, складывающейся на текущий момент времени. Информация о числе пассажиров с остановок маршрута поступает с видеокамер на сервер, который вычисляет требуемое число инфобусов в автопоезде.

Внешне это выглядит следующим образом. Водителю инфобуса на конечной остановке подается сигнал о начале выезда на маршрут. Когда он выезжает на начало маршрута, то к нему присоединяется из накопителя инфобусов данной конечной остановки такое количество инфобусов, чтобы покрыть мощность пассажиропотока на маршруте. При этом сервер производит прогностический расчет по каждой остановке маршрута на возможность увеличения числа пассажиров, так как обслуживание остановки выполняется с запаздыванием на время прибытия

автопоезда на конкретную остановку. После выполнения маршрутного задания и перед началом следующего рейса от автопоезда может отсоединиться, либо присоединиться некоторое число инфобусов в зависимости от складывающейся на маршруте ситуации с пассажиропотоком на предстоящий рейс.

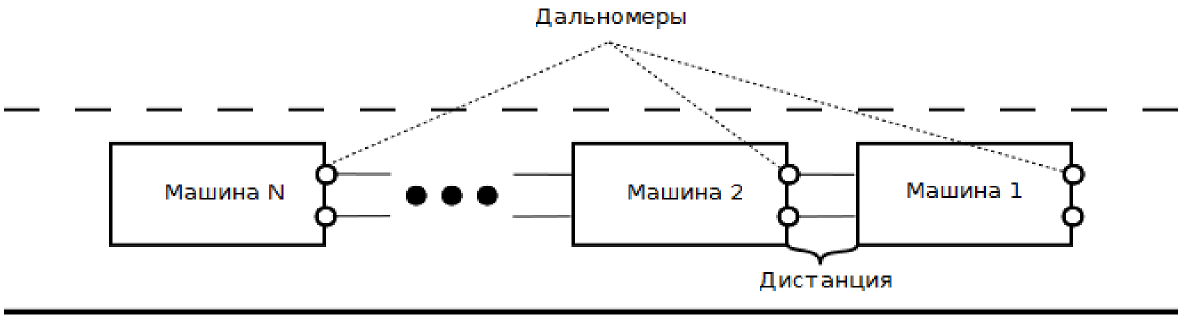


Рис. 3. Автопоезд из инфобусов

Таким образом, система управления транспортными средствами в данном проекте является адаптивной к основному параметру-мощности пассажиропотока на маршруте. Этим обеспечивается высокая экономичность системы и её привлекательность для пассажиров в плане комфортности проезда в равномерно заполненном салоне инфобуса, а также в гарантийном обеспечении приемлемого времени ожидания пассажиром инфобуса на остановке. Такие характеристики недоступны эксплуатируемым в настоящее время системам управления городским пассажирским транспортом.

Движение инфобусов в улично-дорожной среде

Необходимо, чтобы УДС была как можно более нейтральна к движению инфобусов. Полностью достигнуть нулевого влияния на участника движения, как в метро, невозможно. Уменьшить это влияние можно за счет выделения специальной полосы движения, как это делается для общественного транспорта типа автобуса или троллейбуса.

Недостатком такого выделения является сокращение числа полос движения для других участников движения, а в связи с этим и уменьшение пропускной способности магистрали. Отсюда требование к ширине инфобуса: она должна быть минимальной и составлять 1-1.5 метра. Такой выбор обусловлен двумя факторами. Ширина полосы магистрали составляет 3-3.5 метра. Достаточно эту полосу поделить на два и в результате получим две полосы движения (прямое и обратное) для инфобусов.

Полоса движения инфобусов непосредственно примыкает к тротуару и отделена от него ограждением, а от основной дороги слева сплошной линией (рис.4). В некоторых случаях может использоваться легкое ограждение в форме установленных на сплошной линии пластмассовых конусов.

Вторая причина, по которой инфобус должен быть узким, связана с процессом загрузки пассажиров в салон инфобуса. Для быстрой выгрузки (загрузки) пассажиров инфобус является низкопольным (вровень с платформой), а также имеет много дверей.

Время выгрузки и загрузки пассажиров ограничено и не должно превышать, в лучшем случае, длительности светофорного цикла (80-120 сек.), либо быть кратным ему.



Рис.4. Автопоезд из двух инфобусов на перекрестке

Это позволит инфопоезду пересекать перекрестки со светофорным регулированием без остановки в координированной зеленой волне, так как после остановки он начинает движение с того самого места в светофорном цикле, на котором остановился.

В случае, если светофорный объект автономный (не включен в план координации), то системе сообщается момент старта с остановки для того, чтобы проехать текущий по ходу светофорный объект беспрепятственно. Для этого используется система «Мобильный помощник водителя» [6], которая на любом этапе движения инфобуса указывает оставшееся время зеленой фазы светофорного объекта по ходу движения инфобуса. При этом система обозначает рекомендованную скорость для безостановочного проезда светофора.

Каждый инфобус оснащен компьютером, GPS-навигатором, устройством связи с главным, управляющим компьютером системы и с другими инфобусами, датчиками, обеспечивающими безопасность. Бортовой компьютер осуществляет контроль всех действий (слежение за положением вагона, скоростью, дверьми и т.д.)[7]. Инфобус имеет различные системы безопасности, в том числе и буфер, представляющий собой резиновое уплотнение спереди и сзади и способный погасить энергию удара в случае самого невероятного события.

Выводы

Предлагается новый тип городского общественного транспорта – информационный. Данный вид транспорта способен без помех со стороны других транспортных средств функционировать в насыщенной улично-дорожной среде и перевозить большое количество пассажиров, сравнимое с метро. Этот вид транспорта является более энергоэкономным, чем существующие транспортные системы.

Предлагаемый тип транспорта является системой, в которой информационные процессы (сбор информации, обработка информации, принятие решений) выполняются постоянно и составляют основу информационной транспортной системы. Нарушение любого из этих процессов делает систему неработоспособной. Единичным транспортным средством системы является автономный электрокар (без водителя) вместимостью до 50 человек (инфобус). В отличие от известных транспортных пассажирских средств (автобус, троллейбус, трамвай и т.д.), которые работают автономно, инфобус может функционировать только в составе информационной транспортной системы.

Литература

1. Михайлов А.Ю. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей / А.Ю. Михайлов, И.М.Головных. – Новосибирск: Наука, 2004. – 266с.
2. Стоимость сооружения 1км метро в Минске составляет от 40 до 60 млн долларов[Электронресурс].–Режим доступа: http://minsknews.by/blog/2014/08/19/stoimost-sooruzheniya-1-km-metro-v-minske-sostavlyaet-ot-40-do-60-mln-dollarov/
3. Варелопупо Г.А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте. М., Транспорт, 1981 г. 93 с.
4. Аристов А.О., Моргачѐв К.В. Компьютерная система поддержки принятия решений по управлению транспортными потоками // Сборник научных докладов II научно-практической конференции «Научно-техническое творчество молодѐжи – путь к обществу, основанному на знаниях» – М., МГСУ, 2010. – с. 205.
5. Проект Safe Road Trains for the Environment(SARTRE)-режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/Safe_Road_Trains_for_the_Environment
6. Касьяник В.В., Шуть В.Н. Мобильный помощник водителя в выборе стратегии вождения //«Искусственный интеллект» Донецк: ИПИИ «Наука і освіта». – 2012. - № 3. - С. 253-259.
7. Vasili Shuts, Valery Kasyanik. Mobile Autonomous robots - a new type of city public transport. / Transport and Telecommunication // V.12.- No 4.- 2011. – P.52-60.

Literatura

1. A. Mikhailov Modern trends in design and reconstruction of street and road networks / A. Mikhailov, I. Golovnyh. - Nauka, Novosibirsk, 2004. – p. 266.
2. 1 km of subway in Minsk costs from 40 to 60 million dollars [Elektronresurs]. –Access mode: http://minsknews.by/blog/2014/08/19/stoimost-sooruzheniya-1-km-metro-v-minske-sostavlyaet-ot-40-do-60-mln-dollarov/
3. G. Varelopupo. Public transportation in urban area. M., Transport, 1981 93.
4. A. Aristov, K. Morgachev Computer decision making system for traffic control // Proceedings of the Second scientific and practical conference "Scientific and Technical Creativity of young people - the path to a society based on knowledge" - M., MGSU, 2010. - p. 205.
5. The project Safe Road Trains for the Environment (SARTRE) - Access mode: http://en.wikipedia.org/wiki/Safe_Road_Trains_for_the_Environment
6. V. Kasyanik, V. Shut. Mobile assistant for choosing the strategy of driving - "Artificial intelligence" Number 3, 2012, Donetsk: IPII "Nauka i osvita" - p. 253-259.
7. V. Shuts, V. Kasyanik. Mobile Autonomous robots - a new type of city public transport. / Transport and Telecommunication // Volum 12 No 4, 2011 – p. 52-60.

RESUME

V.N.Shuts, L. Persia, G. Giustiniani

Information transportation system mass conveyor carriage of passengers

A new type of urban public transport system is discussed in the article. The system is based on information processing. This type of transport is capable to operate in intensive urban environment and carry passengers with the efficiency of metro. This type of transport is more energy saving than the existing transport systems. This is a system where information processes (gathering, processing, decision-making) are carried out continuously. Violation of any of these processes results to system crash. The basic transport unit is an autonomous electric car (INFOBUS). The capacity of each unit is up to 50 people. In contrast to the common public transport (bus, trolleybus, tram, etc.) that operates separately INFOBUS can be used only inside of the information transport system it is involved in.

Поступила в редакцию 20.08.2015